

УДК 629.3.025.2(045)

О.А. Сущенко, к.т.н., доц.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Національний авіаційний університет

E-mail: fsu@nau.edu.ua

*Визначено особливості проектування регуляторів систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв. Подано модель одного каналу системи стабілізації. Наведено результати моделювання. Виконано порівняльний аналіз регуляторів різного типу.*

*Design features of the stabilizing system regulators for the information-measuring devices are defined. The single-channel model of the stabilizing system is represented. The simulation results are represented. The comparative analysis of different kind regulators is carried out.*

*Определены особенности проектирования регуляторов системы стабилизации информационно-измерительных устройств. Представлена модель одного канала системы стабилизации. Приведены результаты моделирования. Выполнен сравнительный анализ регуляторов разного типа.*

### Постановка проблеми

Сучасний прогрес систем інерціальної стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв зумовлений низкою досягнень у розвитку гіроскопічних пристроїв, виконавчих механізмів та електронних пристроїв, що дозволяє створювати нові регулятори з розширеною полосою пропускання.

Сучасні механічні конструкції разом з новими матеріалами забезпечують кращі міцність та жорсткість. Механізми з більшою жорсткістю мають вищі частоти механічних резонансів, що забезпечує більшу смугу пропускання.

Сучасний етап проектування систем інерціальної стабілізації характеризується зменшенням шумів у гіроскопічних приладах, виконавчих механізмах та електронних пристроях.

Останніми роками точнісні характеристики систем інерціальної стабілізації та роздільна здатність інформаційно-вимірювальних пристроїв стрімко поліпшились. Ці якості не можуть бути реалізовані без прогресу в засобах стабілізації, що зумовлює актуальність дослідження процесу створення відповідних регуляторів та забезпечення їх стійкості до збурень.

Згідно з вимогами до точності процесів стабілізації та стеження інформаційно-вимірювальних пристроїв виникає необхідність використання інерціальної стабілізованої платформи у триступеновому кардановому підвісі.

У разі використання таких платформ для стабілізації апаратури спостереження потрібно забезпечити розвороти в широкому діапазоні. Для проектування сучасних систем стабілізації апаратури спостереження необхідно забезпечувати такі режими її функціонування:

- попереднього горизонтування;
- виставлення платформи відносно горизонту;
- відпрацювання поворотів на задані кути ризику, тангажа та крен;
- стабілізацію платформи під час руху об'єкта, на якому вона встановлюється.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Підходи до проектування регуляторів системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв наведено в багатьох роботах.

Особливості створення PID-регуляторів систем стабілізації корисного навантаження широкого класу розглянуто в роботі [1].

Сучасні тенденції технології створювання інерціальних стабілізованих платформ наведено в роботі [2].

Особливості організації контурів управління і стеження в системах стабілізації антен і телескопів, які поширюються на системи досліджуваного типу, охарактеризовано в роботі [3].

**Мета** статті – визначити особливості та основні тенденції проектування регуляторів системи стабілізації інформаційно-вимірвальних пристроїв.

### Математичний опис системи стабілізації

Визначення основних принципів побудовання математичного опису досліджуваної системи доцільно почати з розгляду одного її каналу. До складу такої моделі належать:

- об'єкт стабілізації;
- двигун;
- редуктор;
- широтно-імпульсний модулятор;
- гіроскопічний вимірвач кутової швидкості;
- блок управління або регулятор.

За модель об'єкта стабілізації приймається корисне навантаження, момент інерції якого приводиться до валу двигуна з урахуванням передавального числа редуктора.

Модель гіроскопічного вимірвача кутової швидкості визначається статичною характеристикою.

Модель широтно-імпульсного модулятора вважається лінійною.

До складу систем інерціальної стабілізації входить інерціальний вимірвач кутового положення або кутової швидкості.

Функції вимірювання кінематичних пристроїв досліджуваної системи забезпечують такі пристрої, як акселерометри, датчики кутової швидкості та гіроскопічні вимірвачі кутової швидкості, наприклад, на підставі волоконно-оптичних гіроскопів.

Управління системою інерціальної стабілізації може здійснюватися на підставі стандартного підходу, а саме за допомогою ПІД-регулятора, побудованого за схемою паралельного підключення пропорційної, інтегровальної та диференціальної ланок:

$$W_1 = k_1 \omega;$$

$$W_2 = \frac{k_2}{1 - z^{-1}};$$

$$W_3 = \frac{k_3 - k_4 z^{-1} + k_5 z^{-2}}{1 - k_6 z^{-1} + k_7 z^{-2}}.$$

Обчислювальну схему моделі одного каналу системи стабілізації показано на рис. 1.

Управління виконується за сигналом абсолютної швидкості стабілізованого об'єкта, що вимірюється гіроскопічним датчиком.

Вихідний сигнал регулятора надходить на широтно-імпульсний модулятор. На виході останнього формується сигнал управління, що надходить на обмотку двигуна.

Рух об'єкта стабілізації, тобто апаратури спостереження вважається відносним, рух об'єкта, на якому встановлюється система стабілізації з корисним навантаженням, – переносним.

Формування напруги обмоток якоря двигуна  $U_{\text{я}}$  описується виразом

$$U_{\text{я}} = U_{\text{шпм}} - c_e \dot{\phi}_{\text{дв}},$$

де  $U_{\text{шпм}}$  – вихідний сигнал широтно-імпульсного модулятора;

$c_e$  – стала ерс;

$\dot{\phi}_{\text{дв}}$  – кутова швидкість двигуна.

Стала часу двигуна враховується через аперіодичну ланку з одиничним коефіцієнтом підсилення:

$$T_{\text{дв}} \dot{U}_{\text{вих}} + U_{\text{вих}} = U_{\text{я}},$$

де  $T_{\text{дв}}$  – стала часу двигуна;

$U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга аперіодичної ланки.

Модель механічної частини двигуна можна подати так:

$$J_{\text{дв}} \ddot{\phi}_{\text{дв}} + M_{\text{оп}} \text{sign} \dot{\phi}_{\text{дв}} = c_m U_{\text{вих}} / R_{\text{об}},$$

де  $J_{\text{дв}}$  – момент інерції двигуна;

$\ddot{\phi}_{\text{дв}}$  – кут повороту двигуна;

$M_{\text{оп}}$  – момент опору обертанню двигуна;

$c_m$  – коефіцієнт моменту навантаження на валу двигуна;

$U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга аперіодичної ланки;

$R_{\text{об}}$  – опір обмоток якоря двигуна.



Математична модель інерціальної стабілізованої платформи з урахуванням усіх її каналів (рискання, тангажа, крену) може бути створена на підставі рівнянь її руху в інерціальному просторі.

Для системи, що складається з трьох каналів, об'єктом стабілізації за каналом рискання є зовнішня рамка карданового підвісу, яка здійснює розвороти за кутом рискання.

Під час розглядання цього об'єкта слід враховувати масу та моменти інерції рамок тангажа та крену з платформою та встановленим на ній корисним навантаженням.

Об'єктом стабілізації за каналом тангажа є рамка карданового підвісу, яка здійснює розвороти за кутом тангажа, з урахуванням маси та моментів інерції рамки крену та платформи з корисним навантаженням.

Об'єктом стабілізації за кутом крену є рамка карданового підвісу, яка здійснює розвороти за кутом крену, з платформою та відповідним корисним навантаженням.

Крім корисного навантаження на платформі встановлюються три гіроскопічних вимірювача кутової швидкості, вимірювальні осі яких є ортогональними і в початковому стані збігаються з осями крену, тангажа та рискання, а також два акселерометри, осі чутливості яких у вихідному стані збігаються з осями тангажа та крену.

Датчики кутів встановлюються в осях рамок карданового підвісу, відносно яких здійснюються повороти на кути рискання, тангажа, крену.

Результати відпрацювання кутової швидкості в режимах стабілізації та стеження показано на рис. 2.

Використання лише пропорційного регулятора супроводжується значною статичною похибкою. На перший погляд використання PI-регулятора є більш бажаним з погляду забезпечення вимог до коливальності перехідного процесу, але застосування PID-регулятора поліпшує частотні характеристики системи.

Головним призначенням контуру стабілізації є компенсація збурень.

Дослідженнями встановлено, що для всіх розглянутих регуляторів у зоні високих частот за межею їх смуги перепускання частотні характеристики контуру визначаються власними характеристиками механізму підвісу [1].

Але зоні низьких частот, що належать до смуги перепускання, мають свої відмінності для регуляторів різного типу. Контур стабілізації має бути стійким, здатним сприймати команди стеження та компенсувати збурення, що діють на положення лінії візування.

Порівняльний аналіз характеристик класичних регуляторів, найчастіше використовуваних у контурах стабілізації, наведено в таблиці.

PI- та PID-регулятори є більш поширеними для застосування в системах стабілізації, оскільки пропорційні P-регулятори не можуть забезпечити необхідний рівень заглушення низькочастотних збурень.

PID-регулятори забезпечують найкращий рівень заглушення низькочастотних збурень, але мають тенденцію до коливань у момент прикладання сигналів управління. Через можливість резонансів у багатьох випадках забезпечення вимог до стійкості системи з використанням PID-регуляторів є досить складним завданням.

Класичні PI- та PID-регулятори задовольняють вимоги широкого класу високочастотних контурів стабілізації.

Залежно від галузі застосування та точнісних вимог можуть бути застосовані й інші типи регуляторів. Наприклад, традиційна схема регулятора може бути доповнена схемою компенсації моментів тертя.

У деяких випадках може застосовуватись адаптивне управління й альтернативні варіанти, у тому числі регулятори із прямим зв'язком. Найбільш перспективним з огляду на те, що головною метою контуру стабілізації є заглушення збурень, вважається застосування робастних регуляторів.

З точки зору реалізації внутрішній контур регулятора може бути цифровим за умови забезпечення смуги перепускання, достатньої для конкретного застосування.

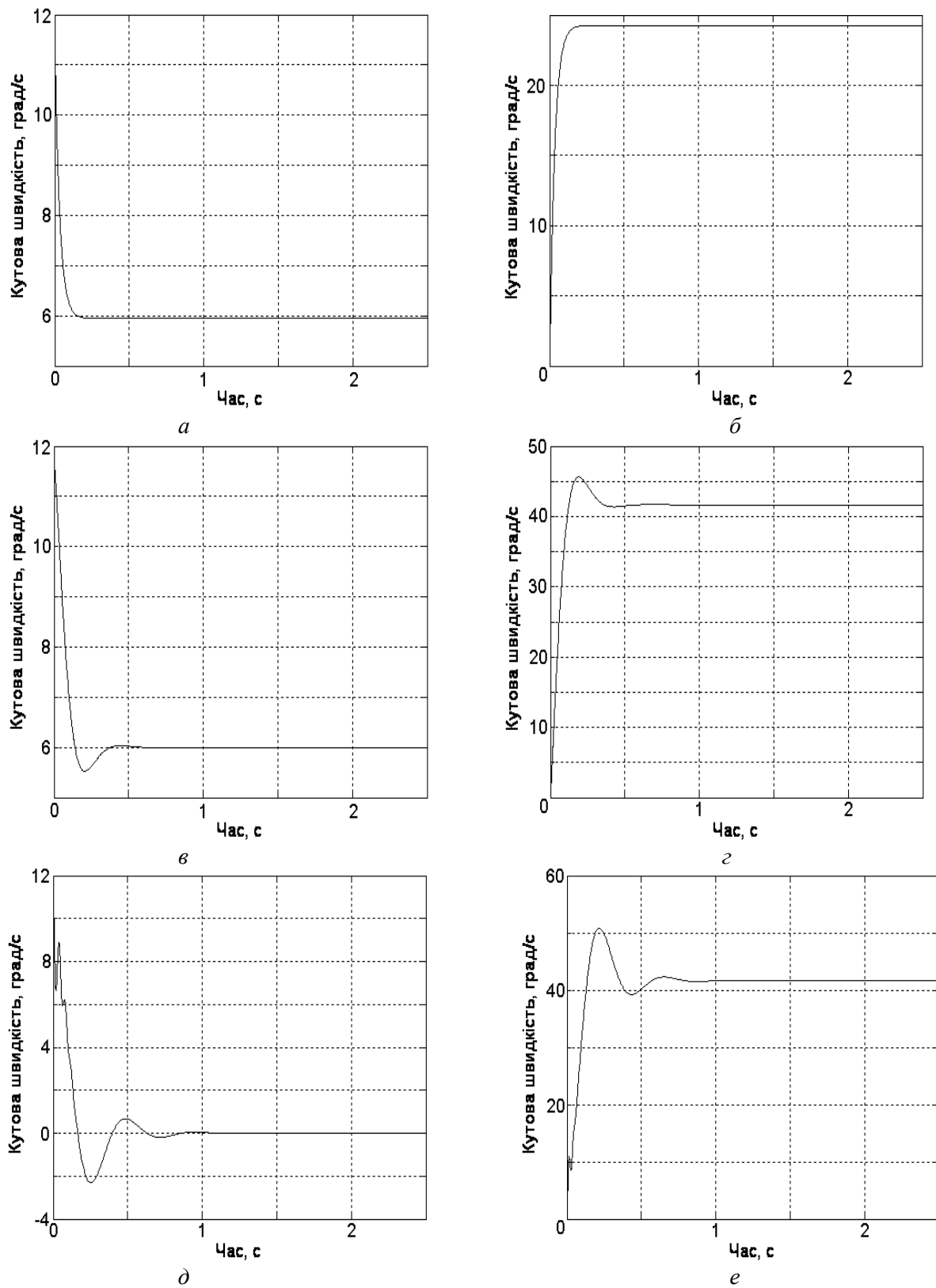


Рис. 2. Відпрацювання кутової швидкості в режимі стабілізації та стеження:

а, б – з використанням Р-регулятора;

в, г – з використанням PI-регулятора;

д, е – з використанням PID-регулятора

### Порівняльний аналіз регуляторів для системи інерціальної стабілізації

Тип регулятора	Складність проектування	Здатність сприймати команди	Заглушення збурень
Пропорційний P – регулятор	Простий	Прийнятна	Добре у низькочастотній області. Погане в інших областях
Пропорційно-інтегральний PI – регулятор	Більш складний	Прийнятна	Добре у низькочастотній області. Середнє в інших областях
Пропорційно-інтегральний з диференціюванням PID – регулятор	Найскладніший	Прийнятна, але має тенденцію до коливань	Найкраще у низькочастотній області

#### Висновки

Визначено особливості проектування регуляторів для системи інерціальної стабілізації. Виконано порівняльний аналіз регуляторів різного типу.

#### Література

1. *Masten M.K.* Inertially stabilized platforms for optical imaging systems / M.K. Masten // *IEEE Control Systems*. – 2008. – No 1, Vol. 28. – P. 47 – 64.

2. *Lawrence A.* Modern Inertial Technology: navigation, guidance and control / A. Lawrence. – New York.: Springer-Verlag, 1998. – 279 p.

3. *Gavronski W.* Modeling and Control of Antennas and Telescopes / W. Gavronski. – New York.: Springer-Verlag, 1998. – 279 p.

Стаття надійшла до редакції 25.01.2011.